

(19) Japanese Patent Office (JP)

(12) Patent Publication (A)

(11) Patent Publication No. 2000-82995

(43) Date of Publication: March 21, 2000

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: H04B 10/02; H04B 10/18; H04J 14/00; H04J 04/02

(21) Patent application No. Heisei 11(1999)-189730

(22) Filed: July 2, 1989

(31) Priority claiming No. Heisei 10(1998)-196364

(32) Date of priority date: June 10, 1998

(33) Country of foreign priority: Japan

(71) Applicant: 000004226

Nihon Denshin Denwa Kabushiki Kaisha,  
3-1, Otemachi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo

(72) Inventor: Makoto Murakami

c/o Nihon Denshin Denwa Kabushiki Kaisha,  
19-2, Nishishinjuku 3-chome, Shinjuku-ku, Tokyo

(72) Inventor: Hideki Yamada

c/o Nihon Denshin Denwa Kabushiki Kaisha,  
19-2, Nishishinjuku 3-chome, Shinjuku-ku, Tokyo

(72) Inventor: Takamasa Imai

c/o Nihon Denshin Denwa Kabushiki Kaisha,  
19-2, Nishishinjuku 3-chome, Shinjuku-ku, Tokyo

(74) Patent Attorney: 100064908 Masatoshi Shiga

(54) Title of the invention: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57) Abstract

[Problem to be solved]: To increase the transmission capacity of a system and to increase a transmission distance with simpler constitution by installing means to suppress deterioration in transmission characteristics by means of accumulating tertiary dispersion in optical fibers for the whole system.

[Solution]: An optical fiber transmission line obtained by combining positive diffusion fibers 40, 46, 52 and 54 and negative diffusion fibers 42 and 48 (called as optical fibers in the following), which have secondary diffusion and tertiary diffusion, whose codes are inverse, is provided. The optical fibers are arranged so that the average tertiary diffusion value of the whole transmission line is reduced and the lengths of the optical fibers become sufficiently smaller than the root of the product of a secondary diffusion length decided from the secondary diffusion value of the optical fibers and the pulse width of a signal and non-linear length decided by the average power of the signals in the optical fiber and the optical fiber non-linear constant of the optical fibers.

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-82995

(P2000-82995A)

(43)公開日 平成12年3月21日 (2000.3.21)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 04 B 10/02  
10/18  
H 04 J 14/00  
14/02

識別記号

F I

H 04 B 9/00

テマコト<sup>®</sup>(参考)

M  
E

審査請求 有 請求項の数6 OL (全10頁)

(21)出願番号

特願平11-189730

(22)出願日

平成11年7月2日(1999.7.2)

(31)優先権主張番号

特願平10-196364

(32)優先日

平成10年7月10日(1998.7.10)

(33)優先権主張国

日本 (JP)

(71)出願人

000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者

村上 誠

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72)発明者

前田 英樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72)発明者

今井 崇雅

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(74)代理人

100064908

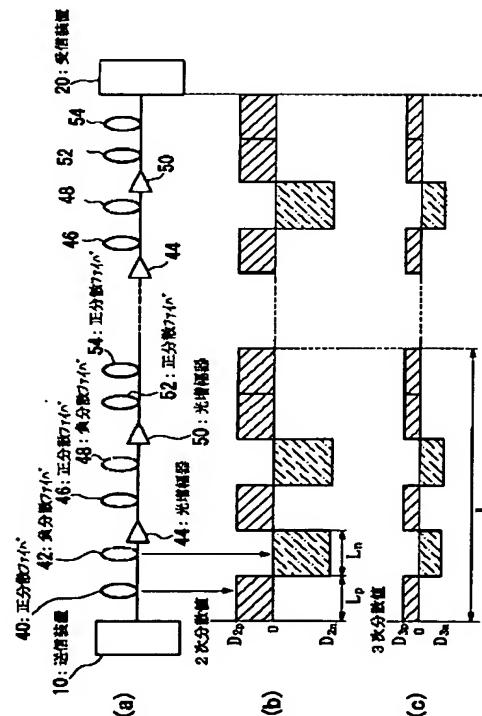
弁理士 志賀 正武

(54)【発明の名称】 光伝送システム

(57)【要約】

【課題】 光ファイバ中の3次分散がシステム全体にわたって累積することによる伝送特性劣化を抑圧する手段を備えることにより簡単な構成でシステムの伝送容量、伝送距離制限を解決する。

【解決手段】 少なくとも互いに逆符号の2次分散及び3次分散を有する正分散ファイバ40, 46, 52, 54と負分散ファイバ42, 48(以下、これらのファイバを光ファイバと称する)とを組み合わせた光ファイバ伝送路を有し、伝送路全体の平均3次分散値を減少させ、且つ上記光ファイバの長さが、上記光ファイバの2次分散値と信号のパルス幅とから決まる2次分散長と、上記光ファイバ内の信号の平均電力及び上記光ファイバの光ファイバ非線形定数で決まる非線形長との積の平方根よりも十分小さくなるように上記光ファイバを配置する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも互いに逆符号の2次分散及び3次分散を有する光ファイバを組み合わせた光ファイバ伝送路を有し、

前記伝送路全体の平均3次分散値を減少させ、且つ前記光ファイバの長さが、前記光ファイバの2次分散値と信号のパルス幅とから決まる2次分散長と、前記光ファイバ内の信号の平均電力及び前記光ファイバの光ファイバ非線形定数で決まる非線形長との積の平方根よりも十分小さくなるように前記光ファイバを配置することを特徴とする光伝送システム。

【請求項2】 前記光ファイバ伝送路の平均2次分散値を、波長多重信号の各信号間波長間隔、信号のパルス幅、及び2次分散値によって決まるウォークオフ長及びコヒーレンス長よりも十分長い距離までの区間において有限値に保ち、

前記2次分散値と信号のパルス幅とから決まる2次分散長と、前記光ファイバ内の信号の平均電力及び前記光ファイバの光ファイバ非線形定数で決まる非線形長との積の平方根よりも小さい間隔において前記2次分散値が零になるように前記光ファイバを配置することを特徴とする請求項1記載の光伝送システム。

【請求項3】 光中継器として動作する光増幅器を更に有し、

前記光ファイバの組み合わせにおいて、非線形定数の小さい光ファイバを前記光増幅器の出力側に配置することを特徴とする請求項1又は請求項2記載の光伝送システム。

【請求項4】 正符号の前記2次分散及び3次分散を有する光ファイバと、負符号の前記2次分散及び3次分散を有する光ファイバとの長さが等しいことを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れかに記載の光伝送システム。

【請求項5】 前記伝送路は、上り回線と下り回線とを有し、

前記上り回線及び下り回線に対して前記2次分散値を零とする共通の区間を設けたことを特徴とする請求項1乃至請求項4記載の光伝送システム。

【請求項6】 前記伝送路の両端部分の光ファイバは、少なくとも20キロメートル以上、前記上り回線及び下り回線共に同種類の光ファイバであることを特徴とする請求項1乃至請求項5記載の光伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光ファイバを用いて光信号を伝送する光通信システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光通信において、光信号の伝送距離を増加させるためには、光信号の減衰等を考慮すると光信号電力を増加する必要があるが、光伝送路として一般的に

用いられる光ファイバはその中を伝搬する光信号の電力及び伝送距離の増加とともにその非線形性による効果が顕著となることが知られている。そのため、この非線形による効果により光伝送システムの伝送可能距離が制限される。

【0003】 光ファイバの非線形性は一般的に以下に述べるような現象を引き起こすことが一般的に知られている。

(1) 光強度変化に応じた信号光自身の位相変化をもたらす自己位相変調

(2) 異なる波長の信号光間又は信号光と光雑音光間の相互作用を起こす四光波混合

(3) 相互位相変調

光ファイバの非線形性に起因する現象は、例えば、G.P. Agrawal著、Nonlinear Fiber Optics, Academic Press発行にその詳細が記載されている。

【0004】 上記自己位相変調効果は信号光自身のスペクトルを拡大するため、光ファイバの波長分散による信号光波形劣化を増大させる。この波形劣化の原因となる光ファイバの波長分散は、一般的に2次以上の次数の分散を意味する。すなわち、自己位相変調効果のみ考え、この効果の低減又は防止を図る場合には光ファイバの零分散波長において光信号伝送すれば良いことになる。

【0005】 一方、四光波混合及び相互位相変調は異なる波長の光信号間あるいは光信号と光雑音間の群速度差に依存し、この群速度差が大きいほど相互作用の大きさは小さくなる。この群速度差は、2次分散値にほぼ比例するので、四光波混合及び相互位相変調効果を低減するためには2次分散値が大きくなるようにすればよい。これらの相反する条件を満たすために従来の伝送路は図7に示す配置であった。図7は、従来の伝送路の配置を示す図であり、(a)は伝送路の物理的な配置を示し、

(b)は(a)に示された伝送路の2次分散値の分布を示し、(c)は(a)に示された伝送路の3次分散値の分布を示す。

【0006】 送信装置10と受信装置20の間に設けられた従来の伝送路は、伝送ファイバ30、光増幅器32、伝送ファイバ34、光増幅器36、及び分散補償ファイバ38からなる単位伝送路が継続接続されてなる。上記伝送ファイバ30、34は2次分散が零ではなく、図7に示した例では負の分散値を有する。また、分散補償ファイバ38は、光信号が伝送ファイバ30、34中を伝搬した際に生ずる分散を補償するためのものであり、図7に示した例では2次分散値が正の値を有する。このように、従来は2次分散が零でない光ファイバ30、34と、ある伝送距離ごとに2次分散値が零になるように挿入された分散補償ファイバ38とを組み合わせて用いている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来の

光伝送システムにおいては、2次分散値のみに着目し、この2次分散値を零とする構成であるので、一般的に用いられる光ファイバが有する3次以上の高次分散は零とはならない。例えば、図7に示した例では、3次分散値に着目すると、伝送ファイバ30、伝送ファイバ34、及び分散補償ファイバ38の何れもが正の値の3次分散値を有しており、この分散が何等補償されていない。このため、伝送路を伝搬してきた光信号は、光ファイバが有する3次以上の高次分散の影響を受けた結果となる。従来の光システムにおいては3次以上の高分散が全く考慮されていないため、伝送路全体の影響を受ける。

【0008】このとき、信号伝搬中の光ファイバの非線形性が無視できない場合には送信装置10又は受信装置20でこれらの分散を補償する装置を挿入しても信号波形劣化を生ずることになる。上記高次分散のなかでも、特に3次分散はより高次の分散に比べて相対的に分散値が最も大きいため問題となる。また、3次分散が零でない場合、2次分散値が波長によって異なることになる。

【0009】図8は、従来の光伝送システムにおける分散特性と波長多重信号との関係の説明するための図である。図8において、符号 $C_p$ が付された線は、図7中の分散補償ファイバ38の波長と2次分散値との関係を示す線であり、符号 $C_n$ が付された線は、図7中の伝送ファイバ30、34の波長と2次分散値との関係を示す線であり、符号 $C_c$ が付された線は、図7中の分散補償ファイバ38と伝送ファイバ30、34とを組み合わせた場合の波長と2次分散値との関係を示す線である。

【0010】図8に示すように波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ を用いて波長多重伝送を行う場合には、ある波長（図8に示した例では $\lambda_2$ ）の光信号に対しては2次分散値を零にすることができるが、それ以外の信号波長（図8に示した例では $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ ）に対しては2次分散値を零とすることが不可能になる。その結果、これらの波長（図8に示した例では $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ ）の信号が伝送路を伝搬すると分散を生じ、しかも伝送路中においてこの分散が補償されないため2次分散がシステム全体にわたって累積する。伝搬中の光信号に対して光ファイバの非線形性が無視できない場合には、送信装置10又は受信装置20で分散補償を行っても、信号波形劣化を引き起こすことになり問題であった。

【0011】本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、光伝送システムにおいて、光ファイバ中の3次分散がシステム全体にわたって累積することによる伝送特性劣化を抑圧する手段を備えることにより簡単な構成でシステムの伝送容量、伝送距離制限を解決する光伝送システムを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、少なくとも互いに逆符号の2次分散及び3次分散を有する光ファイバを組み合わせた光ファイバ

伝送路を有し、前記伝送路全体の平均3次分散値を減少させ、且つ前記光ファイバの長さが、前記光ファイバの2次分散値と信号のパルス幅とから決まる2次分散長と、前記光ファイバ内の信号の平均電力及び前記光ファイバの光ファイバ非線形定数で決まる非線形長との積の平方根よりも十分小さくなるように前記光ファイバを配置することを特徴とする。また、本発明は、前記光ファイバ伝送路の平均2次分散値を、波長多重信号の各信号間波長間隔、信号のパルス幅、及び2次分散値によって決まるウォークオフ長及びコヒーレンス長よりも十分長い距離までの区間において有限値に保ち、前記2次分散値と信号のパルス幅とから決まる2次分散長と、前記光ファイバ内の信号の平均電力及び前記光ファイバの光ファイバ非線形定数で決まる非線形長との積の平方根よりも小さい間隔において前記2次分散値が零になるように前記光ファイバを配置することを特徴とする。更に、本発明は、光中継器として動作する光増幅器を更に有し、前記光ファイバの組み合わせにおいて、非線形定数の小さい光ファイバを前記光増幅器の出力側に配置することを特徴とする。また、本発明は、正符号の前記2次分散及び3次分散を有する光ファイバと、負符号の前記2次分散及び3次分散を有する光ファイバとの長さが等しいことを特徴とする。また、本発明は、前記伝送路が、上り回線と下り回線とを有し、前記上り回線及び下り回線に対して前記2次分散値を零とする共通の区間を設けたことを特徴とする。また、本発明は、前記伝送路の両端部分の光ファイバは、少なくとも20キロメートル以上、前記上り回線及び下り回線共に同種類の光ファイバであることを特徴とする。

【0013】本発明にあっては、光ファイバ伝送路として互いに逆符号の2次分散及び3次分散を有する光ファイバを組み合わせて用い、これら光ファイバのパラメータを調整し、配置することにより、光ファイバ非線形性と光ファイバ分散特性に起因する伝送特性劣化が十分小さくなるようにしている。本発明に係わる光伝送システムでは、基本的な光送受信及び中継伝送機能は従来どおりの光送受信器及び光ファイバ伝送路、光増幅中継器により実現される。この光ファイバ伝送路を互いに逆符号の2次分散及び3次分散を有する光ファイバを組み合わせを用いて構成することにより、3次分散がシステム全体にわたって累積することが避けられる。同時に、2次分散値も自己位相変調効果、相互位相変調効果、四光波混合による信号劣化を低減するようにその配置を管理しているので、これによる影響は2次分散値のみ管理していた従来システムと同様に防ぐことができる。本発明により、光ファイバ非線形性と光ファイバ分散特性に起因する伝送特性劣化を大幅に緩和することができ、システムの容量増加、伝送距離増大に効果的である。また、実際の敷設を考慮して、正符号の前記2次分散及び3次分散を有する光ファイバと、負符号の前記2次分散及び3

次分散を有する光ファイバとの長さとを等しくし、更に、上り回線及び下り回線とを有する場合には、上り回線及び下り回線に対して2次分散値を零とする共通の区間を設けたので、伝送路を実際に敷設する際の建設及び保守が容易になる。更に、伝送路の両端部分の光ファイバは、少なくとも20キロメートル以上、上り回線及び下り回線共に同種類の光ファイバを用いているので、保守が容易且つ迅速に行える。

## 【0014】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の一実施形態による光伝送システムについて詳細に説明する。図1は、本発明の一実施形態による光伝送システムの構成を示すブロック図であり、(a)は伝送路の物理的な配置を示し、(b)は(a)に示された伝送路の2次分散値の分布を示し、(c)は(a)に示された伝送路の3次分散値の分布を示す。

【0015】本実施形態においては、送信装置10は単一波長又は波長多重光信号を発生し、送信装置10と受信装置20との間に設けられた伝送路は、正分散ファイバ40、負分散ファイバ42、光増幅器44、正分散ファイバ46、負分散ファイバ48、光増幅器50、正分散ファイバ52、及び正分散ファイバ54からなる単位伝送路が継続接続されてなる。

【0016】ここで、上記正分散ファイバ40、46、52、54は、正符号の2次及び3次分散を有し、上記負分散ファイバ42、48は負符号の2次及び3次分散を有する。また、上記正分散ファイバ40、46、52、54の長さは $L_p$ であり、負分散ファイバ42、48は $L_n$ である。

【0017】いま、正分散ファイバ40、46、52、54の2次及び3次分散をそれぞれ $D_{2p}$ 、 $D_{3p}$ とし、負分散ファイバ42、48の2次及び3次分散をそれぞれ $D_{2n}$ 、 $D_{3n}$ とする。また、正分散ファイバ40、46、52、54及び負分散ファイバ42、48を組み合わせた区間、即ち単位伝送路の平均2次分散値を $D_{2s}$ とし、平均3次分散を $D_{3s}$ とする。また、システム全長を $L$ とする。

【0018】ここで、一般的な波長多重信号伝送の場合を考え、光ファイバ内の一波長信号あたりの平均電力を $P$ 、光ファイバ非線形定数を $k_2$ 、信号のパルス幅を $T_0$ 、信号光波長を $\lambda$ （近似的に全ての信号波長に対して共通とする）、波長間隔を $\Delta\lambda$ とし、下の(1)～(5)式に示される特性長を定義する。

## 【数1】

$$L_{NL} = \frac{1}{k_2 P} \quad \dots \dots \quad (1)$$

## 【数2】

$$L_{D2} = \frac{T_0^2}{\left(\frac{\lambda^2}{2\pi c}\right) |D_2|} \quad \dots \dots \quad (2)$$

## 【数3】

$$L_{D3} = \frac{T_0^3}{\left(\frac{\lambda^2}{2\pi c}\right)^2 \left| \frac{2D_2}{\lambda} + D_3 \right|} \quad \dots \dots \quad (3)$$

## 【数4】

$$L_w = \frac{T_0}{|D_2| \Delta \lambda} \quad \dots \dots \quad (4)$$

## 【数5】

$$L_{coh} = \frac{1}{\left(\frac{2\pi c}{\lambda^2}\right) |D_2| \Delta \lambda^2} \quad \dots \dots \quad (5)$$

【0019】ここで、 $L_{NL}$ は非線形長であり、光ファイバの非線形性の尺度となり、 $L_{D2}$ 及び $L_{D3}$ はそれぞれ2次分散長及び3次分散長で、それぞれ2次分散及び3次分散の大きさの尺度である。ただし、(2)から(5)式中の $D_2$ は簡単のため $D_{2p}$ 、 $D_{2n}$ 、又は $D_{2s}$ のいずれかの場合を代表して記述している。同様に、(2)から(5)式中の $D_3$ は $D_{3p}$ 、 $D_{3n}$ 、又は $D_{3s}$ のいずれかを代表して記述している。尚、本明細書中で用いられる語句「パルス幅」は、パルス波形の半値全幅若しくは半値半幅又はパルス波形ピーク値の $1/e$ （ここで、 $e$ は指數関数）の値となるパルスの幅をもって定義してもよい。

【0020】 $L_w$ はウォークオフ長で相互位相変調の大きさの尺度であり、 $L_{coh}$ はコヒーレンス長で四光波混合の大きさの尺度となる。ただし、ここではコヒーレンス長 $L_{coh}$ は縮退四光波混合の場合を対象としている。本実施形態では、まず2種類のファイバ長 $L_p$ 、 $L_n$ をそれぞれ

## 【数6】

$$\sqrt{L_{D2p} L_{NL}} \text{ 及び } \sqrt{L_{D2n} L_{NL}}$$

よりも十分小さな値、例えば、ファイバ長 $L_p$ 、 $L_n$ をこの数式で表される値の $1/2$ 以下とすることにより、これらの区間内で起こる光ファイバ線形性と2次分散による信号波形劣化を回避することが可能である（例えば、Journal of Lightwave Technology, vol. 13, No. 5, p86 2, 1995 参照）。図1では、一単位伝送路内に2種類の光ファイバを配置しているが、上述の条件を満たしていれば、それぞれの光ファイバを中継区間をまたいで配置してもよいことは明らかである。

【0021】次に、2種類のファイバを組み合わせた区間の平均2次分散値 $D_{2s}$ を、零ではなく有限の値として残留させることにより、相互位相変調効果と四光波混合効果が低減される。しかしながら、一方で平均2次分散値 $D_{2s}$ と光ファイバ線形性に起因する劣化が生ずるので、ある距離 $L_s$ において2次分散及び3次分散が零又

は十分小さくなるように補償する。このとき  $L_s$  は上記と同様の理由により

【数 7】

$$\sqrt{L_{D2s} L_{NL}}$$

より十分小さくする必要がある。

【0022】同時に、ファイバ線形性と3次分散  $D_{3s}$  による信号波形劣化を回避するためにはある距離  $L_s$  を

【数 8】

$$\sqrt[3]{L_{D3s} L_{NL}^2}$$

に対して、十分小さくする必要がある。通常、

【数 9】

$$\sqrt{L_{D3s} L_{NL}} > \sqrt[3]{L_{D3s} L_{NL}^2}$$

であるので、

【数 10】

$$L_s < \sqrt{L_{D2s} L_{NL}}$$

としても差し支えない。

【0023】また、一方で相互位相変調効果と四光波混合同効果を十分低減するために、ある距離  $L_s$  はウォークオフ長  $L_w$  より十分大きくする必要がある。通常の条件において、 $L_{coh} < L_w$  なので、例えば、ある距離  $L_s$  はウォークオフ長  $L_w$  程度以上の値（例えば5倍以上）に設定すればよい（例えば、電子情報通信学会光通信システム研究会、OCS 96-57, p 37, 1996 参照）。

【0024】また、ある距離  $L_s$  の範囲内において、2次分散及び3次分散を零にするためには以下の条件が満たされている必要がある。

【数 11】

$$\sum_{i=1}^N D_{2p}^{(i)} L_p^{(i)} + \sum_{j=1}^M D_{2n}^{(j)} L_n^{(j)} = 0 \quad \dots \dots \quad (6)$$

【数 12】

$$\sum_{i=1}^N D_{3p}^{(i)} L_p^{(i)} + \sum_{j=1}^M D_{3n}^{(j)} L_n^{(j)} = 0 \quad \dots \dots \quad (7)$$

ただし、

【数 13】

$$\sum_{i=1}^N L_p^{(i)} + \sum_{j=1}^M L_n^{(j)} = L_s \quad \dots \dots \quad (8)$$

である。

【0025】ここで、添字  $i$  及び  $j$  はそれぞれある距離  $L_s$  の区間内の正分散ファイバ、負分散ファイバの番号を表す。また、 $N$  及び  $M$  はある距離  $L_s$  区間内のそれファイバの総数を表す。図1に示した例では、正分散ファイバ46, 52を光増幅器44, 50各々の出力側に配置しているが、これは正分散ファイバ46, 52の方が負分散ファイバ42, 48よりも非線形定数が小さ

いと仮定し、ファイバ非線形効果の影響を考慮したものである。

【0026】もし、負分散ファイバ42, 48の方が正分散ファイバ46, 52よりも非線形定数が小さい場合又は非線形定数の大きさに関わらず光増幅器出力側にこれを配置した場合でも上記の内容に変更はないことは明らかである。以下、ある距離  $L_s$  の範囲の分散配置を同様に繰り返すことによって本実施形態のシステム全体が構成される。

【0027】図2は、本発明の一実施形態による光伝送システムの波長に対する相対的信号対雑音比の実験結果と従来の光伝送システムの波長に対する相対的信号対雑音比の実験結果とを示した図である。この実験結果は、図1に示した送信装置10から単一波長の10Gb/sのNRZ(Non-Return-to-Zero)信号(パルス幅100ps)を送出し、光増幅器44, 50を約50km間隔で配置して中継伝送したものである。尚、パルスのパワーは0.2mWであり、伝送路の全長は9000kmである。

【0028】また、比較のために従来の光伝送システムとして、図7における伝送ファイバ30の2次分散値を-1Ps/nm/km、3次分散値を0.07Ps/nm<sup>2</sup>/kmとし、500km伝送ごとに2次分散を零にするような分散補償ファイバ38を挿入した。また、本発明の一実施形態による構成においては、正分散ファイバ40, 46, 52, 54と負分散ファイバ42, 48との組み合わせにより、3次分散値を0.01Ps/nm<sup>2</sup>/kmまで低減した。

【0029】信号波長が零分散波長からずれることにより、図8を用いて説明したように3次分散が零でないことに起因する2次分散の累積が起こることになる。その結果、図2に示したように、従来の光伝送システムにおいては零分散波長伝送時に比較して著しいSNR劣化をもたらすが、本発明によれば広い波長域において、この様な劣化が改善されていることが明らかである。

【0030】図3は、2種類のファイバの組み合わせ方において単純に2次分散と3次分散が零になるように組み合わせた場合の伝送特性の計算結果の例を示す図である。また、図4は、本発明の一実施形態による光伝送システムの伝送特性の計算結果を示す図である。図3においては、2種類のファイバを組み合わせた区間の平均2次分散値  $D_{2s}$  を単純に零とし、図4においては、平均2次分散値  $D_{2s}$  を有限の値として残留させている。

【0031】計算においては、典型的パラメータとして、10Gb/sのNRZ(パルス幅100ps)信号、信号波長数は8波、波長間隔1nm、一波長あたりファイバ内平均信号電力は0.2mWとしている。図3に示されたように、平均2次分散値  $D_{2s}$  を単純に零とした場合には著しい信号波形のアイ開口劣化が生ずるが、図4に示されたように、本実施形態を用いればこれ劣化

は著しく改善されることが明らかである。

【0032】以上、本発明の一実施形態について説明したが、次に本発明を実際の光伝送システムに適用する場合について具体的に説明する。実際の光伝送システムに用いられる光伝送ケーブルは、互に逆方法の上り回線と下り回線とが対になり、これら上り回線用の光ファイバと下り回線用の光ファイバとが対を含んでなるのが一般的である。また、単位時間においてある程度以上の情報量を伝送しなければならぬとの要求から、光伝送ケーブルは上記光ファイバの対が複数設けられて構成されるのが一般的である。

【0033】上述した本発明の一実施形態のように、2種類の光ファイバで光伝送路を構成する場合には、上り回線及び下り回線の何れにも正分散ファイバ及び負分散ファイバを必要とする。よって、1本の上り回線及び1本の下り回線からなる光伝送路を考えると、光伝送路を構成する光伝送ケーブルの組み合わせは4通り必要となる。つまり、上り回線及び下り回線共に正分散ファイバで構成される光伝送ケーブル、上り回線が正分散ファイバ、下り回線が負分散ファイバで構成される光伝送ケーブル、上り回線が負分散ファイバ、下り回線が正分散ファイバで構成される光伝送ケーブル、並びに上り回線及び下り回線共に負分散ファイバで構成される光伝送ケーブルである。ただし、上り、下り回線に符号の異なるファイバを用いる場合には、光伝送ケーブルの接続方向を互いに逆にすることで互換できることは明らかであるので、実際には上述の4種類の光伝送ケーブルの内の3種類の光伝送ケーブルで済むことになる。

【0034】しかしながら、光伝送路の各中継区間において、これら3種類のケーブルを必要に応じて複数組み合わせて光伝送路を構成することは、建設時及び保守上複雑さを伴う。以下、この問題を解決した本発明の他の実施形態について説明する。本実施形態による光伝送システムは、上述した一実施形態と同様に、単一波長又は波長多重の信号を出力する送信装置と、送信器から出力された信号を伝送する光伝送路及び光伝送路の有する損失により減衰した信号の電力を増幅する中継器との繋り返しにより構成された伝送路と、伝送路によって伝送された信号を受信する受信器とによって構成されている。

【0035】図5は、本発明の他の実施形態による光伝送システムにおける伝送路の概略構成を示すブロック図である。図5においては、1つの上り回線USと、1つの下り回線DSとからなる伝送路について例示してある。図5において、60-1～60-nは、光伝送路の有する損失により減衰した信号の電力を増幅する中継器であり、上り回線US及び下り回線DSを伝搬してきた光信号をそれぞれ増幅する光増幅器62a、62bを備えている。64は、2次及び3次の正分散を有する正分散ファイバ63aと2次及び3次の負分散を有する負分散ファイバ63bとからなる。本実施形態においては、

正分散ファイバ63aと負分散ファイバ63bとの長さが同一に設定されている。

【0036】また、66は、光伝送路64と同様に2次及び3次の正分散を有する正分散ファイバ63aと2次及び3次の負分散を有する負分散ファイバ63bとを有する光伝送路である。光伝送路64と光伝送路66とが異なる点は、光伝送路64においては、正分散ファイバ63aが上り回線USに配置され、負分散ファイバ63bが下り回線DSに配置されているが、光伝送路66においては、これらが逆に配置されている点である。

【0037】図5に示したように、本実施形態の光伝送システムにおける伝送路は、光伝送路64、光伝送路66、及び中継器60（以下、中継器60-1～60-nを区別しない場合には、中継器60として説明する。）を単位として繰り返し配置されてなることを基本構成としている。また、本実施形態においては、伝送路の所々に、伝送路を伝搬してきた光信号の2次及び3次分散累積を補償するための区間を設けている。この区間には光伝送路68が設けられている。光伝送路68は上り回線US及び下り回線DSともに同一種類であって同一長の光ファイバ69が配置されている。

【0038】上記の光伝送路64及び光伝送路66は、全く構成が同一であるので、接続を変えれば同一種類のものを用いることができる。よって、図5において、光伝送路64、66と区別していたが、実際には各中継区間内では1種類の光伝送路62のみを用いて伝送路を構成することができる。従って、本実施形態では、2種類の互いに逆符号の分散値を有する光ファイバ63a、63bによって構成された各中継区間内において、光ファイバ63a、63bの長さが等しくなるよう構成しているため、この区間内では1種類の光伝送路62のみを用いて伝送路を構成することができる。よって伝送路全体に亘っても、1種類の光伝送路62によって構成することができる。また、伝送路の所々に、伝送路を伝搬してきた光信号の2次及び3次分散累積を補償するための区間には上り回線US及び下り回線DSともに同一種類であって同一長の光ファイバ69からなる光伝送路68を配置している。このため、複数種類のケーブルを用いる必要が無く、建設及び保守が容易になる。

【0039】また、一般に、海底伝送システム等では、海底ケーブルの切断等による通信回線の障害が深刻な問題となるが、このような切断事故は人為的なものが主であり、従って水深の浅い浅海部で起こる場合が大半である。水深は岸から離れるほど深くなるのが一般的であるので、こののような障害は、両端局に近い部分、例えば両端局から100km以内の区間で生ずると考えて良い。図6は、浅海部の障害を考慮した本発明の他の実施形態における変形例を示す図である。図6において、符号f1で示した箇所は、海底区間水深の一例を示す図である。この図に示されたように、80、82においては

水深が浅く、岸から離れるほど水深は深くなる。

【0040】図6では、伝送路が上り回線US1, US2及び下り回線DS1, DS2の計4回線からなる場合を例示している。本実施形態においては、図5に示した長さがほぼ同じ正分散ファイバ63a及び負分散ファイバ63bをそれぞれ2本づつ有する光伝送路72を用いている。本実施形態においても図5と同様に、伝送路は2つの光伝送路72, 72と海底中継器70とを単位として構成され、この2つの伝送路は図5に示した場合と同様に互いに逆向きになるよう接続されている。本実施形態においては、浅海部80, 82に上り回線及び下り回線ともに同一種類の光ファイバからなる光伝送路を設けたことを特徴としている。図6に示した例では、上り回線US1, US2及び下り回線DS1, DS2全てについて2次及び3次の正分散を有する同一長の光ファイバを有する光伝送路74, 74を浅海部80, 82に配置している。光伝送路74が有する光ファイバの長さは、浅海部の距離を考えると20キロメートル以上であることが好ましい。

【0041】このような構成をとることにより、浅海部80, 82で生ずる障害の保守用ケーブルは、一種類で済み、しかも、この光伝送路74, 74は同一種類の光ファイバのみで構成されているので、接続作業等が容易となる。以上、本発明の他の実施形態について説明した。本実施形態は、基本的には、前述の一実施形態を基本としている。

【0042】前述した一実施形態においては、光ファイバの2次分散値と信号のパルス幅とから決まる2次分散長と、光ファイバ内の信号の平均電力及び光ファイバの光ファイバ非線形定数で決まる非線形長との積の平方根よりも十分小さくなるように光ファイバを配置することを基本としていたが、上述の他の実施形態の変形例においては、上り回線と下り回線の浅海部において用いられる光ファイバの長さを限定したものとなっているので他の実施形態の変形例は、一見すると一実施形態と矛盾するようである。しかしながら海底ケーブルの長さは一般に数百キロメートル～数千キロメートルであり、浅海部の長さは20～100kmであるので、浅海部に光伝送路74を用いることで局所的に一実施形態における条件を満たせない場合でもその影響は無視できるほどである。

【0043】以上、本発明の他の実施形態について説明したが、本発明は、上記一実施形態、他の実施形態及びその変形例に制限されず、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、図5、図6では、上り回線及び下り回線の数が1本乃至2本の場合について例示したが、本発明が回線の数に制限されないことはいうまでもない。

【0044】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれ

ば、基本的な光送受信及び中継伝送機能は従来どおりの光送受信器及び光ファイバ伝送路、光増幅中継器により実現される。この光ファイバ伝送路を互いに逆符号の2次分散及び3次分散を有する光ファイバを組み合わせを用いて構成することにより、3次分散がシステム全体にわたって累積することが避けられる。また、同時に2次分散値も信号波形劣化を低減するようにその配置を管理しているので、これによる影響は2次分散値のみ管理していた従来のシステムと同様に防ぐことができる。本発明により、光ファイバ非線形性と光ファイバ分散特性に起因する伝送特性劣化を大幅に緩和することができる。その結果、従来の光伝送システムの容量増加、伝送距離増大に効果的であり、システムの対伝送容量あたり低コスト化が図られるため、その効果は大きい。また、実際の敷設を考慮して、正符号の前記2次分散及び3次分散を有する光ファイバと、負符号の前記2次分散及び3次分散を有する光ファイバとの長さとを等しくし、更に、上り回線及び下り回線とを有する場合には、上り回線及び下り回線に対して2次分散値を零とする共通の区間を設けたので、伝送路を実際に敷設する際の建設及び保守が容易になるという効果がある。更に、伝送路の両端部分の光ファイバは、少なくとも20キロメートル以上、上り回線及び下り回線共に同種類の光ファイバを用いているので、保守が容易且つ迅速に行えるという効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態による光伝送システムの構成を示すブロック図であり、(a)は伝送路の物理的な配置を示し、(b)は(a)に示された伝送路の2次分散値の分布を示し、(c)は(a)に示された伝送路の3次分散値の分布を示す。

【図2】 本発明の一実施形態による光伝送システムの波長に対する相対的信号対雑音比の実験結果と従来の光伝送システムの波長に対する相対的信号対雑音比の実験結果とを示した図である。

【図3】 2種類のファイバの組み合わせ方において単純に2次分散と3次分散が零になるように組み合わせた場合の伝送特性の計算結果の例を示す図である。

【図4】 本発明の一実施形態による光伝送システムの伝送特性の計算結果を示す図である。

【図5】 本発明の他の実施形態による光伝送システムにおける伝送路の概略構成を示すブロック図である。

【図6】 浅海部の障害を考慮した本発明の他の実施形態における変形例を示す図である。

【図7】 従来の伝送路の配置を示す図であり、(a)は伝送路の物理的な配置を示し、(b)は(a)に示された伝送路の2次分散値の分布を示し、(c)は(a)に示された伝送路の3次分散値の分布を示す。

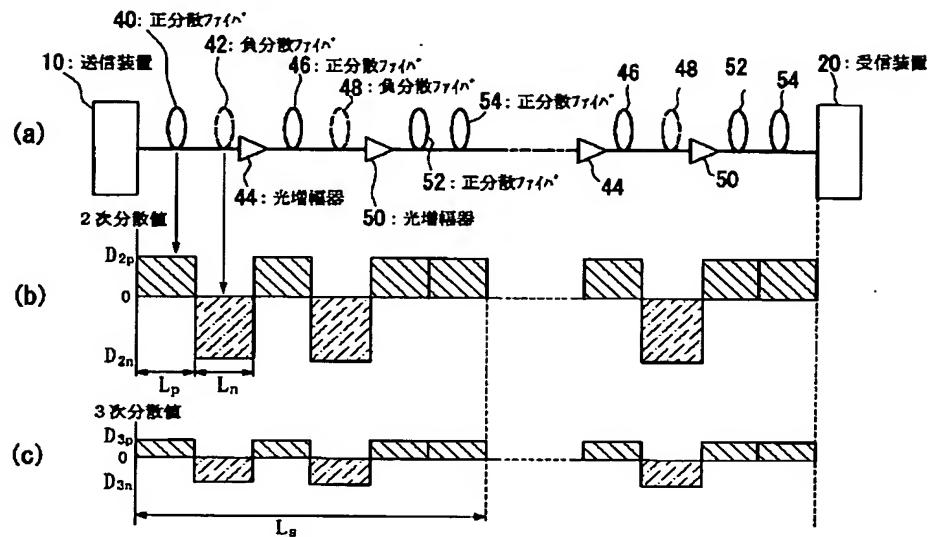
【図8】 従来の光伝送システムにおける分散特性と波長多重信号との関係の説明するための図である。

【符号の説明】

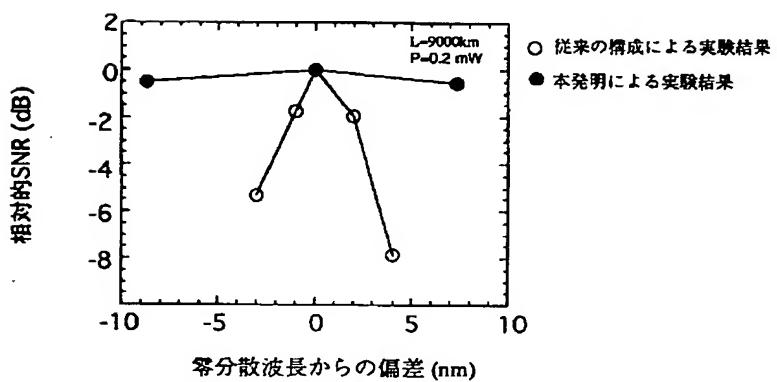
40, 46, 52, 54, 63a, 69…正分散ファイバ  
42, 44, 46, 48, 50, 52, 54…負分散ファイバ、…

(以上、光ファイバ)、44, 50…光増幅器、64, 66, 68, 72, 74…光伝送路

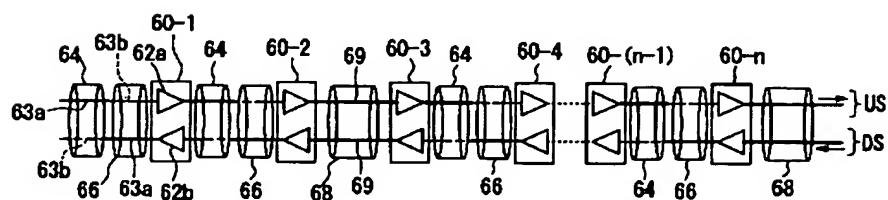
【図1】



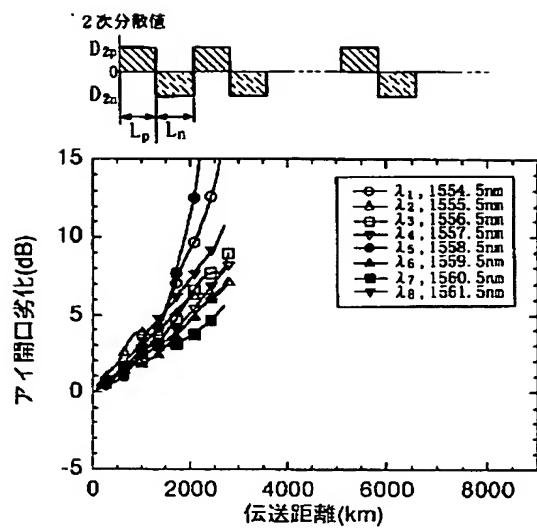
【図2】



【図5】

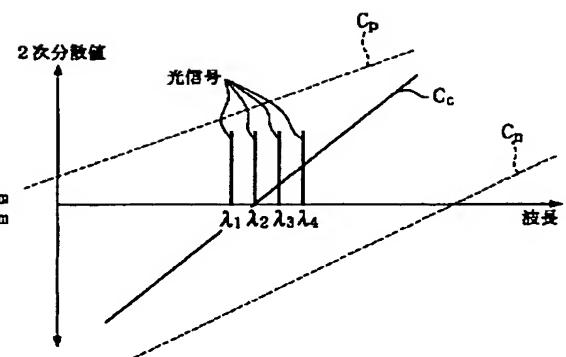


【図3】

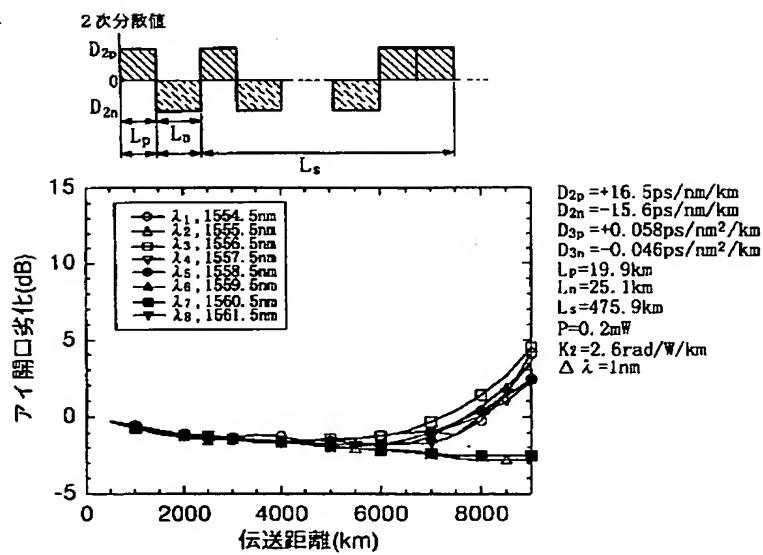


$D_{2p} = +15.6\text{ps/nm/km}$   
 $D_{2n} = -15.6\text{ps/nm/km}$   
 $D_{3p} = +0.046\text{ps/nm}^2/\text{km}$   
 $D_{3n} = -0.046\text{ps/nm}^2/\text{km}$   
 $L_p = 22.5\text{km}$   
 $L_n = 22.5\text{km}$   
 $P = 0.2\text{mW}$   
 $K_2 = 2.6\text{rad/W/km}$   
 $\Delta\lambda = 1\text{nm}$

【図8】

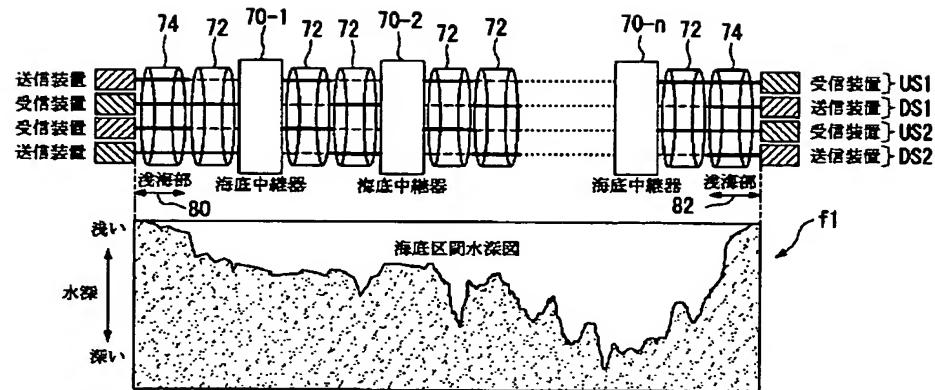


【図4】



$D_{2p} = +16.5\text{ps/nm/km}$   
 $D_{2n} = -15.6\text{ps/nm/km}$   
 $D_{3p} = +0.058\text{ps/nm}^2/\text{km}$   
 $D_{3n} = -0.046\text{ps/nm}^2/\text{km}$   
 $L_p = 19.9\text{km}$   
 $L_n = 25.1\text{km}$   
 $L_s = 475.9\text{km}$   
 $P = 0.2\text{mW}$   
 $K_2 = 2.6\text{rad/W/km}$   
 $\Delta\lambda = 1\text{nm}$

【図6】



【図7】

